Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum


# Über die Sichtbarmachung der Bewegung mikroskopisch kleinster Teilchen für das freie Auge

von

**Hans Molisch,**
k. M. k. Akad.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der k. k. deutschen Universität in Prag. Nr. 98 der zweiten Folge.

(Vorgelegt in der Sitzung am 25. April 1907.)

Über die Frage nach den kleinsten noch mit bloßem Auge wahrnehmbaren Objekten wurden genaue Beobachtungen von verschiedenen Forschern, insbesondere von Harting[1] gemacht. Er fand für die Augen von fünf verschiedenen Personen als Grenze der Wahrnehmbarkeit runder oder kugelförmiger Körper 46 μ bis 23 μ. Die Pollenkörner von *Phlox paniculata* messen im Durchmesser etwa 46 μ und die von *Clematis cylindrica* etwa 23 μ. So kleine Zellen können mit freiem Auge noch als Pünktchen wahrgenommen werden.

Das Wahrnehmungsvermögen des bloßen Auges geht aber in Wirklichkeit noch weiter, da Körper, die im Verhältnis zu ihrer Dicke sehr lang sind, wie Drähte oder Haare, mit größerer Leichtigkeit gesehen werden als viereckige oder runde Körperchen von gleichem Durchmesser. So kann ein Spinnwebfaden, dessen Durchmesser etwa 2·1 μ beträgt, »in dem Rohre eines Mikroskopes, dessen Gläser weggenommen waren, einem durch eine Argand'sche Lampe beleuchteten matten Glase so gegen-

[1] P. Harting, Das Mikroskop. Braunschweig 1859, deutsche Ausgabe, p. 54.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum


übergestellt, daß gar keine Reflexion an den Rändern des Fadens stattfand«, noch deutlich wahrgenommen werden. Alle diese Werte sind natürlich nur approximativ, denn sie fallen verschieden aus nach der Beleuchtungsart, der Akkomodationsfähigkeit des Auges und anderen Umständen.

Ich habe in der letzten Zeit Beobachtungen gemacht, welche zeigen, daß das unbewaffnete menschliche Auge unter gewissen Umständen die Bewegung mikroskopischer Teilchen von außerordentlicher Kleinheit zu sehen vermag, die weit unter jene von Harting bestimmte Grenze heruntergeht. Die folgenden, höchst einfachen Versuche werden dies klar machen.

Wenn man die in unseren Gewächshäusern so häufig gezogene stachlige *Euphorbia splendens* mit einer Nadel im Stengel ansticht, so tritt sofort aus der Wunde ein milchweißer Tropfen hervor, es ist der Milchsaft dieser Pflanze. Bringt man den Tropfen rasch auf einen wohlgereinigten Objektträger, bedeckt mit einem Deckglas und betrachtet die Flüssigkeit mit einem Mikroskop bei einer 300- bis 1000maligen Vergrößerung, so sieht man, daß der Milchsaft, abgesehen von größeren Ballen und eigentümlichen stabförmigen oder schenkelknochenförmigen Stärkekörpern, aus einer ungemein feinkörnigen Emulsion besteht. In einer homogenen Flüssigkeit liegen außerordentlich kleine Kügelchen aus Harz und Kautschuk, die die prachtvollste Brown'sche Molekularbewegung zeigen. Ich kenne kaum ein Objekt, das zur Demonstration dieser Bewegung geeigneter wäre als der *Euphorbia*-Milchsaft. Um solche Präparate dauernd zur Hand zu haben, verschließe ich das Deckglas am Rande mit hartem Terpentinharz, das mit einem heiß gemachten Drahte an den 4 Kanten des Deckglases so aufgetragen wird, daß ein luftdichter Verschluß erzielt und die Flüssigkeit hiedurch vor Verdampfung und Strömungsbewegungen geschützt wird. Solche Präparate zeigen die Brown'sche Molekularbewegung noch nach Monaten. Meines Wissens wurde bisher diese Bewegung nur mit Hilfe des Mikroskops gesehen, sie läßt sich aber, wie man sich leicht überzeugen kann, auch dem freien Auge sichtbar machen. Zu diesem Zwecke ist es nur nötig,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum


das Präparat im direkten Sonnenlichte zu betrachten. Man hält in deutlicher Sehweite den Objektträger vertikal oder etwas schief, läßt das direkte Sonnenlicht schief einfallen und beobachtet im durchfallenden Lichte. Bei richtiger Stellung taucht zur Überraschung des Beobachters die Molekularbewegung der Harzkügelchen auf und gibt sich in einem eigenartigen Flimmern, lebhaften Tanzen und Wimmeln der in prachtvollen Interferenzfarben erscheinenden mikroskopischen Teilchen kund. Hält man in einiger Entfernung (etwa 3 bis 5 *cm*) vom Objektträger ein mattschwarzes Papier, so wird die Erscheinung noch deutlicher, doch ist der schwarze Hintergrund nicht notwendig. Im auffallenden Lichte ist das Phänomen nicht zu sehen. Da man bei dem Versuche nicht direkt in die Sonne zu sehen braucht, sondern nur in das vom Präparate kommende Licht, so wird das Auge hiebei nicht besonders angestrengt. Soll der Versuch gut gelingen, so ist darauf zu achten, daß die Milchsaftschichte nicht zu dick ist, sondern nur jene Stärke aufweist wie bei gewöhnlichen mikroskopischen Präparaten. Auch darf die Sonne nicht verschleiert sein, ein wolkenloser blauer Himmel gibt die besten Resultate. Auch das Licht einer kräftigen Bogenlampe leistet gute Dienste, ja, ich kann hinzufügen, daß ich die Bewegung der Milchsaftkügelchen auch im direkten Lichte einer stark genäherten Glüh-, Petroleum- oder Auerlampe sehe, wenn ich eine gute Lupe zu Hilfe nehme. Am besten tritt die Erscheinung im direkten Sonnenlichte hervor.

Ein ebenfalls sehr empfehlenswertes Objekt, das man sich jederzeit leicht beschaffen kann, ist Tusche, fein zerrieben im Wasser. Ich verwendete für meine Zwecke die käufliche Perltusche (von Günther Wagner), in welcher die Kohle in ganz besonders feiner Verteilung vorliegt. Wenn man ein Präparat in der Weise, wie es vorhin geschildert wurde, anfertigt und dann gegen das direkte Sonnenlicht hält, so sieht man die feinen Tuschpartikelchen gleichfalls in Form glänzender Teilchen in lebhaftester Brown'scher Molekularbewegung. Doch ist es gut, vorher die Beobachtung mit *Euphorbia*-Milchsaft einzuüben, weil der Ungeübte das Phä-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



nomen bei Tusche wegen des geringeren Glanzes der an und für sich schwarzen Kohleteilchen vielleicht schwieriger wahrnehmen wird.

Ein herrliches Objekt für die Wahrnehmung mikroskopischer Teilchen mit freiem Auge lernte ich in gewissen rasch beweglichen Bakterien, z. B. in der Purpurbakterie *Rhodospirillum photometricum* Molisch,[1] kennen.

Diese Bakterie eignet sich für unseren Versuch deshalb so gut, weil sie wie viele andere Purpurbakterien den luftdichten Verschluß mehrere Stunden oder Tage verträgt und im Lichte ohne Luftzutritt in lebhaftester Bewegung verbleibt. Auf dem Objektträger unter Deckglas im Wasser eingeschlossen und bei genügender Dichte im direkten Sonnenlichte betrachtet, erscheinen die Bakterien als irisierende Teilchen, die im lebhaften Gewimmel dahinschwimmen. Daß auch größere Objekte wie gewisse Infusorien bei dichter Lagerung und rascher Eigenbewegung unter den angeführten Umständen mit freiem Auge gesehen werden, bedarf wohl nicht erst genauer geschildert zu werden, doch darf man in diesem Falle nur mit ganz frischen und mit nicht verschlossenen Präparaten arbeiten, da die meisten Infusorien bei mangelndem Luftzutritt rasch absterben und ihre Bewegung einstellen.

Kehren wir nun wieder zu dem Milchsaftpräparat zurück. Es muß jedenfalls überraschen, daß die so außerordentlich kleinen Kügelchen des Saftes sich noch dem freien Auge verraten. Offenbar ruft das ungemein intensive Licht, indem es die Kügelchen trifft und Beugung erleidet, infolge der Beugungsscheibchen und Beugungsbüschel, die sich wegen der Bewegung der Teilchen noch dazu fortwährend ändern, auf der Netzhaut des Auges viel größere Bilder hervor, als es ohne diese Umstände der Fall sein würde, ähnlich wie dies auch bei der Wahrnehmung ultramikroskopischer Teilchen zutrifft.

Die Kügelchen des Milchsaftes von *Euphorbia splendens* haben nicht dieselbe Größe. Wenn man aber von den größeren, die sich entweder gar nicht oder träge bewegen, absieht,

---

[1] Über diese vergl. Molisch H. »Die Purpurbakterien nach neuen Untersuchungen.« Jena 1907, p. 24.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



so schwankt ihr Durchmesser zwischen 0·8 μ bis 0·2 μ. Im Durchschnitt beträgt er etwa 0·5 μ. Dies ist aber schon eine außerordentlich kleine Größe, die nicht mehr weit von der Größe der kleinsten bekannten Bakterien entfernt ist. Die Milchsaftkügelchen anderer *Euphorbia*-Arten, z. B. von *E. fulgens* sind noch etwas kleiner als die von *E. splendens* und dennoch habe ich im direkten Sonnenlicht bei klarem Himmel die Bewegung der Kügelchen gesehen, wenn auch nicht mehr so deutlich als die von *Euphorbia splendens*. Die Milchsaftkügelchen von *E. fulgens* stehen aber tatsächlich schon an der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung, denn sie erscheinen bei einer 1000- bis 2200maligen Vergrößerung (Reicherts 1/12 homog. Immersion) als eben noch erkennbare Pünktchen, die, wenn sie sich nicht bewegen würden, leicht übersehen werden könnten. Der gewöhnlichen mikroskopischen Messung sind sie nicht mehr zugänglich, sie sind also gewissermaßen unmeßbar klein und sind sicherlich kleiner als die kleinsten heute bekannten Bakterien. Als ein Zwerg unter den Bakterien gilt der Influenzabazillus mit 1·2 μ Länge und 0·4 μ Dicke. *Micrococcus progrediens* Schroeter soll nur 0·15 μ groß und *Pseudomonas indigofera* sogar nur 0·06 μ dick und 0·18 μ lang sein.[1]

Damit sind wir aber zu Größen gekommen, die derzeit bereits an die Grenzen der Leistungsfähigkeit unserer besten Mikroskope heranreichen.

Durch die Verbesserungen, die das Mikroskop auf Grund der Arbeiten von Abbe und anderen erfahren hat, insbesondere durch die Erhöhung der Aperturgröße eines Systems, durch die Anwendung von Deckgläschen mit höherem Brechungsindex, durch Heranziehung von Licht kleinerer Wellenlänge ist es gelungen, die Leistungsfähigkeit des Mikroskops so zu steigern, daß man im besten Falle noch Strukturelemente aufzulösen vermag, deren gegenseitiger Abstand 0·25 bis 0·21 μ ist.[2] Ja, bei Anwendung von Monobromnaphthalinimmersion, violettem Licht und schiefer Beleuchtung konnte man, die günstigsten Bedin-

[1] Migula in Lafar's Handbuch der technischen Mykologie. II. Aufl., I. Bd., 1. Lief., p. 33.

[2] S. Czapski, Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie etc., Bd. VIII, 1891, p. 145 bis 155.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



gungen vorausgesetzt, noch Streifenabstände von 0·12 μ sehen.[1]

Mit Hilfe der von H. Siedentopf und R. Zsigmondy aufgefundenen Methode zur Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen[2] ist man allerdings um ein riesiges Stück weitergekommen, denn nun vermag man die Existenz von Einzelteilchen mit Lineardimensionen von 4 bis 6 μμ zu erkennen, ein bewundernswerter Fortschritt, wenn man bedenkt, daß diese Größen an die sogenannten molekularen Dimensionen von 0·1 bis 0·6 μμ gewisser Eiweißkörper heranreichen.

Sehen wir nun vom Ultramikroskop ab und halten wir uns an die Leistungsfähigkeit des gewöhnlichen Mikroskops, so ergibt unsere Betrachtung, daß die Teilchen, die mit freiem Auge unter den geschilderten Umständen an ihrer Bewegung erkannt werden können, bezüglich ihrer Größe knapp an der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung stehen oder mit ihr zusammenfallen. Freilich können wir in diesem extremen Falle die Teilchen als solche nicht mehr erkennen, es verrät sich aber ihre Existenz dem freien Auge durch ihre Bewegung — unter der Voraussetzung, daß die Bewegung eine genügend rasche ist und die Teilchen in großer Zahl dicht beieinander liegen. Wenn das unbewaffnete Auge unter gewissen Verhältnissen noch die Existenz von in Bewegung befindlichen mikroskopischen Teilchen entdeckt, die an der Grenze der Leistungsfähigkeit unserer besten Mikroskope stehen, so verdient dies jedenfalls die Beachtung nicht nur des Mikroskopikers, sondern insbesondere der physiologischen Optik und deshalb habe ich mir erlaubt, die Aufmerksamkeit auf dieses bisher unbekannte Vermögen des menschlichen Auges zu richten.

Zum Schlusse möchte ich noch darauf hinweisen, daß man auch bei ganz schwachen Vergrößerungen unter Zuhilfenahme einer sehr einfachen Dunkelfeldbeleuchtung, die jeder leicht improvisieren kann, unterm Mikroskop Teilchen

---

[1] A. Zimmermann, Das Mikroskop. 1895, S. 54. Leipzig-Wien.

[2] Ann. d. Physik (IV), *10*, 1 (1903).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



und Bewegungen wahrnehmen kann, die ohne diese Beleuchtung und bei sonst gleichen Umständen nicht wahrgenommen werden.

Stellt man ein mikroskopisches Präparat vom Milchsaft der *Euphorbia splendens* bei 50maliger Vergrößerung (Reichert Obj. 3 und Ocul. II) bei senkrechter Beleuchtung z. B. einer Auerlampe ein, so sieht man die kleinen Milchsaftkügelchen undeutlich und ihre Bewegung nicht oder fast gar nicht. Entfernt man nun die Blende und stellt den Spiegel an die der Lichtquelle abgewendete Seite und beleuchtet das Objekt mittels des Hohlspiegels möglichst schief und tunlichst grell, so sieht man von der Brown'schen Molekularbewegung nicht eine Spur. Wenn man nun von der Hälfte des Spiegels das direkte Licht abhält, indem man einfach die flache Hand zwischen den Spiegel und die Lichtquelle und zwar knapp beim Spiegel hält, so erzeugt man hiedurch eine, wenn auch unvollkommene Dunkelfeldbeleuchtung und bei dieser tauchen die Milchsaftkügelchen wie mit einem Zauberschlag als scheinbar selbstleuchtende Pünktchen auf und zeigen die prachtvollste Molekularbewegung. Tuschepräparate, winzige Kriställchen, Bakterien und andere Mikroorganismen eignen sich für derartige Beobachtungen in ausgezeichneter Weise.

Der überraschende Effekt beruht darauf, daß die im Wasser befindlichen Teilchen vom schiefen Lichte grell beleuchtet, über einem relativ dunkeln Untergrunde beobachtet und dadurch schon bei relativ sehr schwachen Vergrößerungen in Erscheinung treten, ganz analog wie beim Ultramikroskop.